

В. И. ГУБАНОВ*, Л. В. СТЕЛЬМАХ*, Н. П. КЛИМЕНКО**

КОМПЛЕКСНЫЕ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВОД СЕВАСТОПОЛЬСКОГО ВЗМОРЬЯ (ЧЕРНОЕ МОРЕ)

Представлены результаты гидрохимического мониторинга Севастопольского взморья (Черное море), в том числе района экспериментальной мидиевой фермы. Проведен расчет комплексных индексов загрязненности и эвтрофикации, что позволило поставить диагноз современного состояния качества вод. Выявлена тенденция к улучшению экологического состояния вод взморья г. Севастополя.

Степень загрязнения Черного моря изменяется под действием климатических, физико-географических факторов, гидробиологических процессов и антропогенного воздействия в различных пространственно-временных масштабах и в совокупности определяет качество его вод для развития биотехнологий, использования в рыбохозяйственных и рекреационных целях. Понятно, что динамика содержания того или иного загрязняющего вещества не позволяет судить об изменениях качества вод моря в целом, поскольку концентрация одного поллютанта может характеризоваться положительным трендом, а другого – отрицательным. Ранее авторами был показан дифференцированный подход к поставке диагноза экологического состояния вод Севастопольского взморья, основанный на результатах мониторинга за содержанием углеводородных соединений техногенного происхождения [1]. В то же время, очевидно, что наиболее объективную оценку качества воды может обеспечить использование комплексных методов. К последним предъявляется ряд основных требований [3]:

- физический и логический смысл;
- простота в определениях и расчетах, доступность понятий;
- универсальность (возможность использования оценки как в отдельных районах, так и по акватории моря в целом);
- достаточная информативность, т. е. возможность получения максимально полной информации при минимальном количестве ингредиентов.

Традиционно для оценки качества поверхностных и морских вод используется индекс загрязненности (ИЗВ) [2]. В настоящее время оценка экологического состояния морской среды и ее изменение в пространственно-временных масштабах все чаще проводится по индексу эвтрофикации - (Е) TRIx [4 - 6]. Именно эти два комплексных показателя были выбраны нами для исследования временных изменений состояния загрязнения вод Севастопольского взморья.

Материал и методы. Начиная с июля 1999 г. и по настоящее время, отдел культуры и прикладной океанологии ИнБЮМ НАН Украины проводит ежемесячный комплексный экологический мониторинг Севастопольского взморья, в том числе района экспериментальной мидиевой фермы. В процессе реализации мониторинга и выявления особенностей гидролого-гидрохимического режима количество станций наблюдений изменялось в сторону увеличения, корректировались их местоположение, а также горизонты отбора проб. Современная схема мониторинга (рис. 1) действует с января 2002 г. Всего за период исследований было выполнено 11 съемок взморья. Ранее в 1992 – 1997 гг. Морское отделение Украинского научно-исследовательского гидрометеорологического института (МО УкрНИГМИ) Госкомгидромета Украины проводило наблюдения на Севастопольском взморье от м. Лукулл до м. Сарыч. В 2001 г. ИнБЮМ и МО УкрНИГМИ провели две совместные экспедиции в районе исследований.

Расчет ИЗВ для морских вод проводился по формуле [2]:

$$ИЗВ = \frac{\sum \frac{(C)}{(ПДК)}}{4}, \text{ где:}$$

С – концентрация трех загрязняющих веществ и растворенного кислорода, ПДК – их предельно-допустимая концентрация. В зависимости от значений ИЗВ приняты классы качества воды (табл. 1).

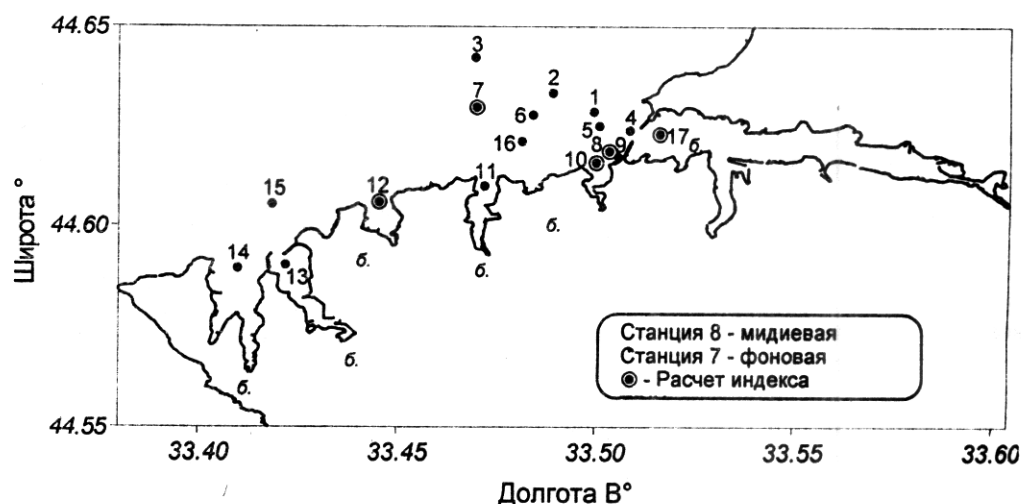


Рисунок 1. Схема расположения станций на Севастопольском взморье
Figure 1. Scheme of the ecological monitoring stations on the Sevastopol offshore

Таблица 1. Классы качества морских вод по ИЗВ
Table 1. Classes of marine waters quality by pollution index

Класс качества воды	Текстовая характеристика качества воды	Величина ИЗВ
I	очень чистая	до 0,25
II	чистая	0,26 - 0,75
III	умеренно загрязненная	0,76 - 1,25
IV	загрязненная	1,26 - 1,75
V	грязная	1,76 - 3,00
VI	очень грязная	3,01 - 5,00
VII	чрезвычайно грязная	более 5

При расчете ИЗВ использовались данные концентраций нефтепродуктов (ПДК = 0,05 мг/л), γ -гексахлорциклогексана (принят норматив 1,1 нг/л), анионных синтетических поверхностно-активных веществ (ПДК = 100 мкг/л) и растворенного кислорода (норматив 6 мг/л).

Преимущество (E) TRIX перед многими другими критериями, с помощью которых также можно оценить качество вод, заключается в том, что для расчетов строго применяются одни и те же характеристики гидрохимического и гидробиологического режима. Это позволяет проводить корректный анализ сравнения отдельных районов Мирового океана по уровню трофности. Индекс (E) TRIX является функцией концентрации растворенного кислорода, общего фосфора, суммы минеральных форм азота и хлорофилла "а". Последний показатель обычно включает в себя общее содержание хлорофилла "а" и феофитина "а" и позволяет судить о биомассе фитопланктона, выраженной через углерод. Согласно [6], индекс эвтрофикации определяется по формуле:

$$(E) \text{TRIX} = \log ([\text{Chl}] \times [\text{D\%O}_2] \times [\text{PT}] \times [\text{DIN}] \times 1.5) / 1.2,$$

где: Chl – хлорофилл "а" в мкг/л; D%O₂ – отклонение в абсолютных значениях растворенного кислорода от 100% насыщения; PT – общий фосфор в мкг/л; DIN – растворенная форма минерального азота в мкг/л.

Классы качества воды в зависимости от величины (Е) ТРИХ представлены в табл. 2.

Таблица 2. Качество морских вод в зависимости от (Е) ТРИХ
Table 2. Marine waters quality by (Е) ТРИХ

Величина (Е) ТРИХ	Трофические категории
< 4	низкий трофический уровень
4 - 5	средний трофический уровень
5 - 6	высокий трофический уровень
6 - 10	очень высокий трофический уровень

При величине (Е) ТРИХ более 6 отдельные районы моря характеризуются высоким содержанием биогенных веществ, низкой прозрачностью и возможностью возникновения гипоксии в придонных слоях воды. И, наоборот, при индексе эвтрофикации менее 4 концентрация главных биогенных элементов незначительная, воды хорошо аэрированы по всей толще и обладают высокой прозрачностью.

Результаты и обсуждение. Динамика индекса загрязненности и классов качества вод Севастопольского взморья за 1992 - 1997 и 2001 гг. представлены на рис. 2, из которого следует, что максимальные значения ИЗВ (1,3 - 1,5) характерны для первых трех лет наблюдений. В последующие годы величина ИЗВ немонотонно уменьшалась. Об этом также убедительно свидетельствует расчет тренда, аппроксимируемый линейным уравнением:

$$y = -0,0471x + 95,147.$$

В 1992 - 1994 гг. воды взморья классифицировались как загрязненные (IV класс), а в 1995 - 1997 и в 2001 гг. - как умеренно загрязненные (III класс). В Севастопольской бухте (данные МО УкрНИГМИ) в 1978 - 2001 гг. класс качества воды изменялся от III (умеренно загрязненная) до VII (чрезвычайно грязная). Межгодовую изменчивость ИЗВ бухты иллюстрирует рис. 3.

Для примера следует отметить, что в сопредельных районах (Каламитский, Алупинский, Ялтинский и Гурзуфский заливы) в этот же период воды постоянно относились к III классу. В то же время, наметившаяся положительная тенденция динамики ИЗВ как в Севастопольской бухте, так и на взморье г. Севастополя, вызывает оптимизм.

К сожалению, синхронных исследований содержания растворенного кислорода, хлорофилла "а" и комплекса биогенных веществ, необходимых для расчета уровня эвтрофикации вод Черного моря в целом и его отдельных районов в частности, явно недостаточно. По этой причине нами был использован короткий ряд ежемесячных наблюдений ИнБЮМ НАН Украины, выполненных в Севастопольских бухтах с декабря 2001 г. по июнь 2002 г.

Расчеты индекса эвтрофикации показали, что в период исследований его величина изменялась от 1,55 до 4,09. Максимальные значения (Е) ТРИХ наблюдались в Севастопольской и Карантинной бухтах, а минимальные - на фоновой станции и в б. Круглая. Динамика индекса эвтрофикации в районе расположения мидиевой фермы, на фоновой станции и в целом по Севастопольскому взморью представлена на рис. 4.

С декабря 2001 г. по июнь 2002 г. практически на всех станциях изменения величины (Е) ТРИХ характеризовались положительным трендом и только в районе мидиевой фермы - отрицательным. В то же время, процессы физико-химических и биоценологических трансформаций вещества и энергии на ферме значительно сложнее. В период максимального выхолаживания воды с декабря 2001 г. по март 2002 г. и связанной с этим перестройкой гидрохимического и гидробиологического режима величина (Е) ТРИХ неуклонно возрастала. В последующем при интенсивном прогреве водной толщи изменения индекса эвтрофикации характеризовались отрицательным трендом.

По-видимому, отмеченное явление связано со специфическими особенностями поведения гидрохимических и гидробиологических характеристик морской среды в системе экологических взаимодействий в районе расположения мидиевой фермы, механизм

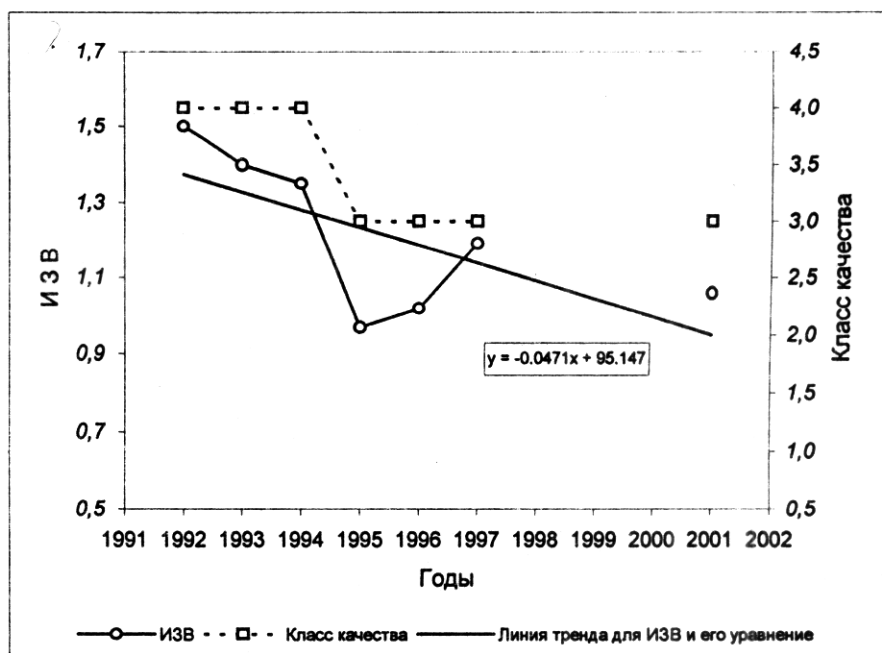


Рисунок 2. Динамика ИЗВ и классов качества вод Севастопольского взморья
Figure 2. Dynamic of water pollution index and classes of waters quality in the Sevastopol offshore

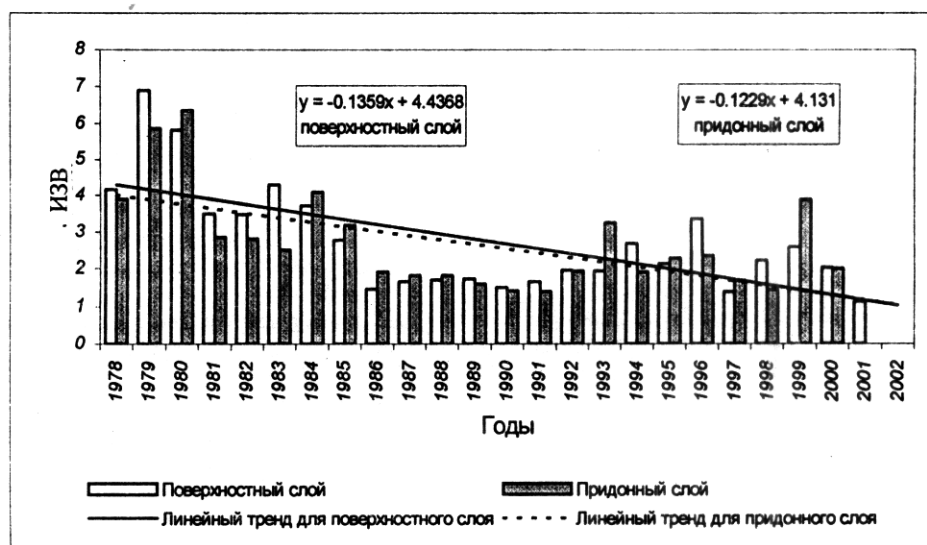


Рисунок 3. Динамика ИЗВ в водах Севастопольской бухты
Figure 3. Dynamic of water pollution index in the Sevastopol Bay

которого еще требует дальнейшего изучения. Для примера отметим, что средняя годовая величина (Е) ТРИХ в прибрежных водах Болгарии составляет 4,96 – 5,18 и только в Варненском заливе достигает 7,35 [5]. По сравнению с Севастопольским взморьем, несколько повышенные значения индекса эвтрофикации у берегов Болгарии можно объяснить влиянием речного стока рек, воды которых, как известно, характеризуются высоким содержанием биогенных веществ.

Выводы. Результаты комплексного мониторинга, проводимого ИнБЮМ НАН Украины и МО УкрНИГМИ на Севастопольском взморье, убедительно свидетельствуют

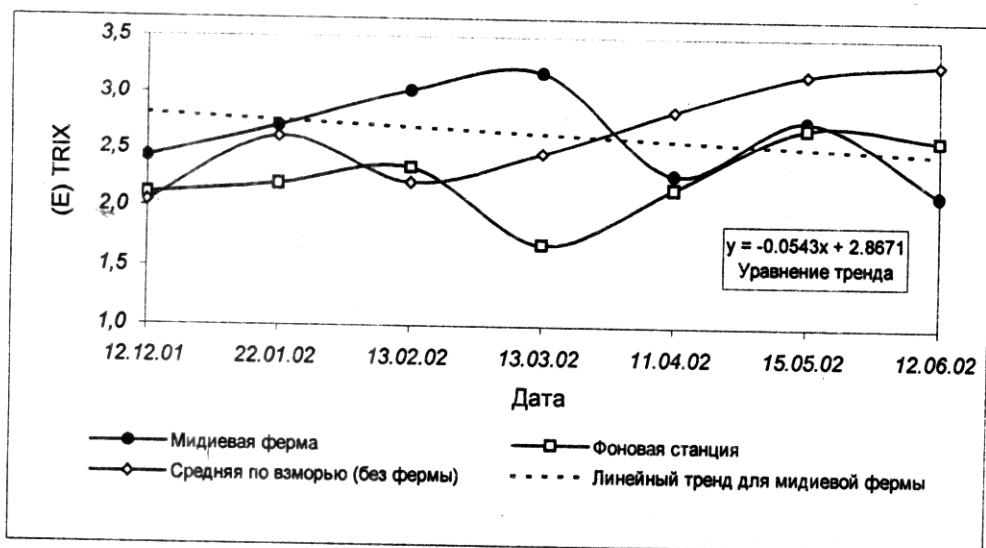


Рисунок 4. Динамика (Е) TRIX в водах Севастопольского взморья
Figure 4. Dynamic of water (E) TRIX index on the Sevastopol offshore

о том, что в последние годы наметилась устойчивая тенденция к улучшению качества его вод. Согласно значениям ИЗВ, в настоящее время воды взморья г. Севастополя относятся к III классу качества (умеренно загрязненные). Вопреки распространенному мнению, что воды Севастопольского региона являются эвтрофированными, результаты расчета индекса (Е) TRIX позволяют классифицировать его как переходный от олиготрофного к мезотрофному.

1. Губанов В. И., Клименко Н. П., Мальченко Ю. А., Рябинин А. И. Диагноз состояния загрязнения морских вод г. Севастополя некоторыми углеводородными соединениями и их производными в 1992-1997 гг. // Морск. гидрофизич. журн. – 2000. – № 3. – С. 39 - 49.
2. Методические рекомендации по формализованной комплексной оценке качества поверхностных и морских вод по гидрохимическим показателям. - М: Госкомгидромет СССР, 1988. - 8 с.
3. Справочник по гидрохимии / Под ред. А. М. Никанорова / Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 391 с.
4. OECD (Vollenweider R. A., Kerekes J.J. ed.). Eutrophication of waters: monitoring assessment and control. – Paris, 1982. – 154 p.
5. Moncheva S., Doncheva V. Eutrophication index ((E) TRIX) – an operational tool for the Black Sea coastal water ecological quality assessment and monitoring. – International symposium "The Black Sea ecological problems". – Odessa, SCSEIO, 2000. – P. 178 – 185.
6. Vollenweider R. A., Giovanardi F., Montanari G. et al. Characterization of the trophic conditions of marine coastal waters, with special reference to the NW Adriatic Sea. – Proposal for a trophic scale, turbidity and generalized water quality index. – Environmetrics. – 1998, No 9. – P. 329 – 357.

*Институт биологии южных морей НАН Украины,
г. Севастополь

**Морское отделение УкрНИ гидрометеорологического института,
г. Севастополь

Получено 12.08.2002

V. I. GUBANOV, L. V. STELMAH, N. P. KLIMENKO

COMPLEX ASSESSMENTS OF THE SEVASTOPOL OFFSHORE WATER QUALITY (THE BLACK SEA)

Summary

The results of hydrochemical monitoring of the Sevastopol offshore (the Black Sea), including area of the experimental mussel farm are presented. The calculation of pollution and eutrophication complex indexes is conducted. It has allowed to diagnose of modern state of marine waters quality. The tendency for the better of the Sevastopol offshore waters ecological state is detected.